

УДК 547.26'118

ТРИЦИКЛОГЕКСИЛФОСФИН В РЕАКЦИЯХ С НЕПРЕДЕЛЬНЫМИ МОНО- И ДИКАРБОНОВЫМИ КИСЛОТАМИ

Ю.В. Бахтиярова, М.С. Бондарь, И.В. Галкина, В.И. Галкин

Аннотация

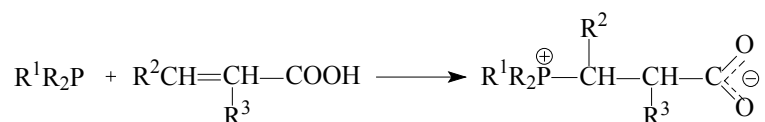
Исследованы реакции трициклогексилфосфина с рядом непредельных моно- и дикарбоновых кислот. Продукты большинства реакций выделены и охарактеризованы, в том числе и методом рентгеноструктурного анализа. Стабильность некоторых полученных карбоксилатных фосфатаинов была оценена термографически совмещенным методом термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии

Ключевые слова: карбоксилатные фосфатаины, третичные фосфины, непредельные карбоновые кислоты, синтез, рентгеноструктурный анализ.

Введение

Химия фосфатаинов – это относительно молодая и быстро развивающаяся область химии элементоорганических соединений. Большой интерес к этой области знаний обусловлен прежде всего широким разнообразием практически полезных свойств бетаинов и их широким спектром биологической активности.

В последнее десятилетие в Казанском государственном университете был выполнен ряд работ в области синтеза, изучения строения и реакционной способности карбоксилатных фосфатаинов [1–9] на основе третичных фосфинов (трифенил-, трибутил- и метилдифенилфосфины) и непредельных моно- и дикарбоновых кислот:



$\text{R} = \text{R}^1 = \text{Ph}, \text{Bu}$

$\text{R} = \text{Ph}, \text{R}^1 = \text{Me}$

$\text{R}^2 = \text{H}, \text{CH}_3, \text{Ph}, \text{C}_6\text{H}_4$ (p), $\text{CH}_3\text{OC}_6\text{H}_4$,

$\text{R}^3 = \text{H}, \text{CH}_3$

Методами ИК- и ЯМР-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и квантовой химии подтверждено строение полученных фосфонийэтилкарбоксилатов. Изучена кинетика и механизм некоторых реакций и установлена существенная роль протонодонорных реагентов и растворителей в стабилизации фосфатаиновых структур.

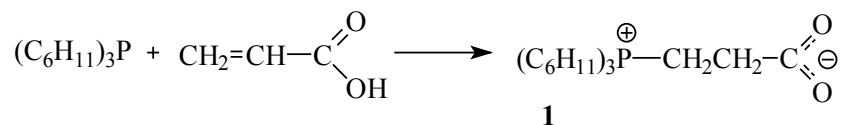
Целью данной работы было экспериментальное исследование образования новых фосфабетаинов на основе не изученного ранее в подобных реакциях трициклогексилфосфина и непредельных моно- и дикарбоновых кислот.

Трициклогексилфосфин был выбран в качестве объекта настоящего исследования как потенциально наиболее сильный по своим нуклеофильным свойствам по сравнению с изученными ранее трифенил-, метилдифенил- и трибутилфосфином, поведение которых в реакциях с непредельными карбоновыми кислотами заметно различалось.

Результаты и обсуждение

Были изучены реакции трициклогексилфосфина с рядом монокарбоновых кислот: акриловой, метакриловой, кротоновой, коричной, пропиоловой, а также с дикарбоновой малеиновой кислотой. Эти реакции протекают существенно медленнее по сравнению с аналогичными реакциями других указанных выше фосфинов. Во всех случаях в реакционной смеси присутствовали примеси фосфиноксида. Однако нам удалось выделить и охарактеризовать целевые продукты (табл. 1).

Реакция трициклогексилфосфина с *акриловой кислотой* протекает в смеси ацетонитрила и бензола при комнатной температуре. В спектре ЯМР ^{31}P реакционной смеси присутствуют сигналы как фосфабетаина, так и соответствующего фосфиноксида. При обработке реакционной смеси диэтиловым эфиром наблюдается выпадение кристаллов, устойчивых на воздухе.



Фосфабетаин **1** был изучен методом ДСК-ТГ. По данным соответствующей дериватограммы (рис. 1) молекула трициклогексил-фосфонийэтилкарбоксилата стабилизирована одной молекулой воды, о чем свидетельствуют эндоэффекты при 74.2 °С, 94.1 °С и 119.5 °С, сопровождающиеся потерей массы в количестве 3.68%, что свидетельствует об отщеплении легкой молекулы с массой около 14 углеродных единиц при общей молекулярной массе гидратированного бетаина 370 углеродных единиц. В пределах точности данного метода это как раз соответствует потере одной молекулы воды.

Состав полученного карбоксилатного фосфабетаина подтвержден элементным анализом. Найдено, %: С 67.67, Н 10.96, Р 8.23. Вычислено, %: С 68.10, Н 10.54, Р 8.37. Стабилизация карбоксилатных фосфабетаинов молекулой воды ранее уже неоднократно отмечалась в работах нашей группы [1–8].

Метакриловая кислота реагирует с трициклогексилфосфином аналогично. Однако выделить устойчивые на воздухе кристаллы при обработке реакционной смеси диэтиловым эфиром не удалось. Кристаллы фосфабетаина **2** стабильны лишь под слоем растворителя. Вне растворителя продукт представляет собой вязкое масло. ЯМР ^{31}P -спектр реакционной смеси представлен на рис. 2.

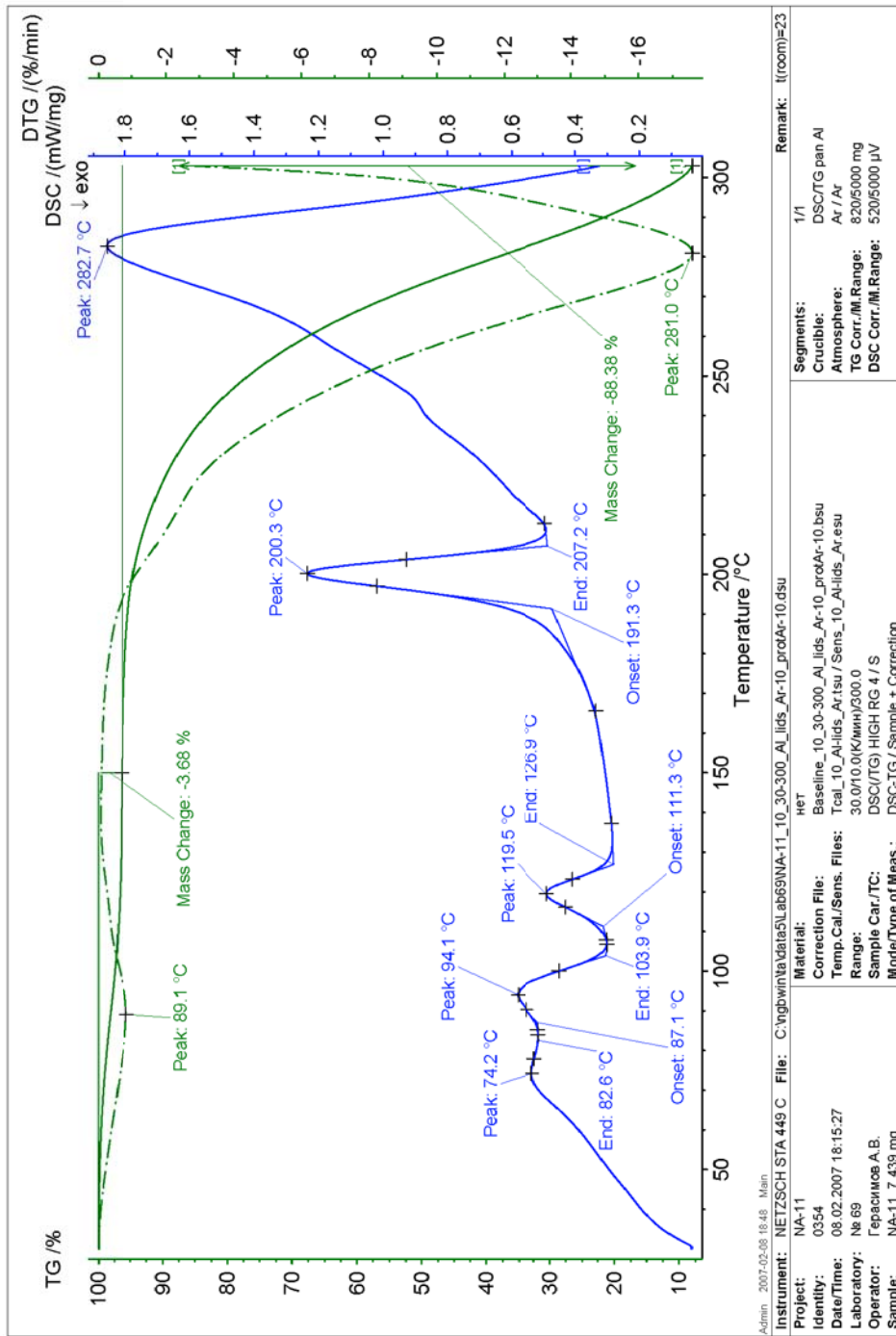


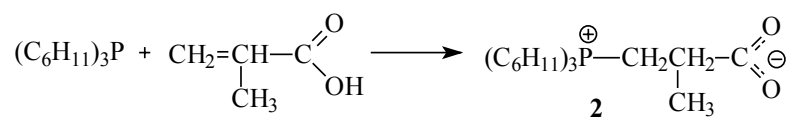
Рис. 1. Дериватограмма /ГДСК фосфатаина 1

Табл. 1

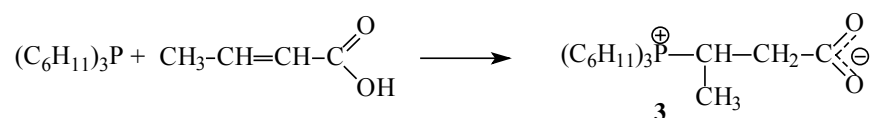
Характеристика карбоксилатных фосфатаинов на основе трициклогексилфосфина и непредельных карбоновых кислот

Карбоксилатные фосфатаины	ν_{COO^-} , см^{-1}	ν_{COOH} , см^{-1}	δ_{P} , м. д.	$T_{\text{пл}}$, $^{\circ}\text{C}$
$(\text{C}_6\text{H}_{11})_3\text{P}^{\oplus}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\ominus$ 1	1600	–	33.7	200.3
$(\text{C}_6\text{H}_{11})_3\text{P}^{\oplus}-\text{CH}_2\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\ominus$ 2	1600	–	33.7	Неустойчивые кристаллы
$(\text{C}_6\text{H}_{11})_3\text{P}^{\oplus}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\ominus$ 3	1600	1750	34.7	154.5
$(\text{C}_6\text{H}_{11})_3\text{P}^{\oplus}-\underset{\text{Ph}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\ominus$ 4	1600	–	33.2	271.4
$(\text{C}_6\text{H}_{11})_3\text{P}^{\oplus}-\text{CH}=\text{CH}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\ominus$ 5	1600	1750	30.05	280.1 ($T_{\text{разл}}$)
$(\text{C}_6\text{H}_{11})_3\text{P}^{\oplus}-\underset{\text{CH}_2}{\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\ominus}-\text{O}-\text{H}$ 6	1620	1740	33.26	206.7

Как видно из спектра, наряду с целевым продуктом (δ_{P} 33.7 м. д.) в реакционной смеси присутствует небольшое количество фосфиноксида с δ_{P} 49.3 м. д.



Кроновая кислота реагирует с трициклогексилфосфином в смеси ацетонитрила и бензола при комнатной температуре. Реакция протекает очень медленно, при отгонке растворителя из реакционной смеси выпадают кристаллы. По данным ИК- и ЯМР-спектроскопии полученные кристаллы представляют собой целевой продукт **3**:



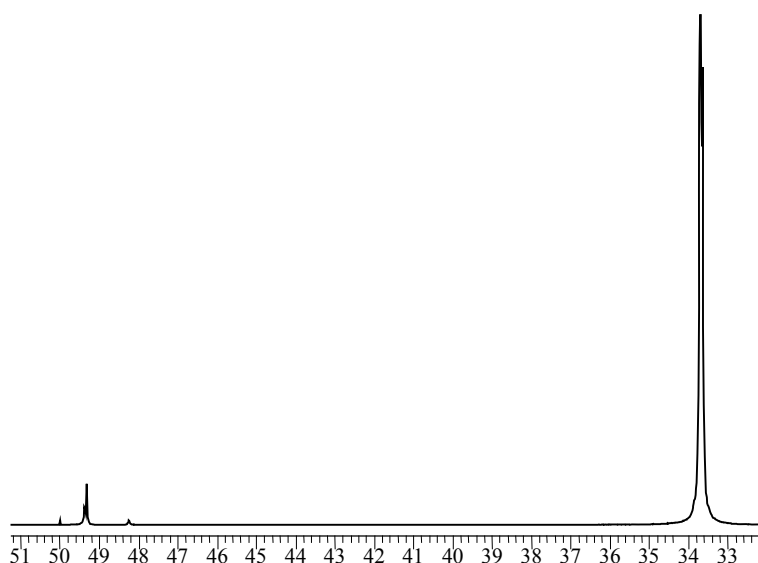
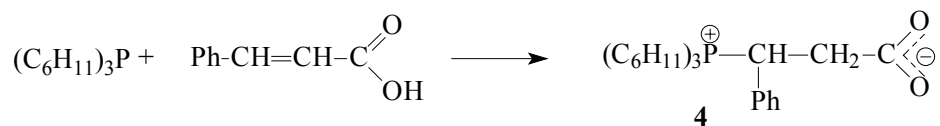


Рис. 2. Спектр ЯМР ^{31}P (CH_3CN , 300 МГц) реакционной смеси, содержащей бетаин **2**

В ИК-спектре этого продукта отчетливо фиксируется характеристичная полоса поглощения карбоксилат-аниона в области 1600 см^{-1} , химический сдвиг ядра фосфора лежит в области 34 м. д., что полностью соответствует предполагаемой бетаиновой структуре. В реакционной смеси после выделения кристаллов по данным ИК- и ЯМР ^{31}P -спектроскопии остается небольшое количество трициклогексилфосфиноксида. По данным РСА (рис. 3) молекула бетаина **3** в кристалле стабилизирована молекулой кротоновой кислоты. Однако следует обратить особое внимание на тот факт, что в этом случае, в отличие от всех предыдущих аналогичных случаев, наблюдавшихся нами ранее [1–4], не происходит переноса протона от стабилизирующей молекулы карбоновой кислоты на карбоксилатную группу фосфобетаина. Фиксируется лишь образование прочной водородной связи. Очевидно, это связано с тем, что кислотные свойства кротоновой кислоты выражены слабее, чем у соответствующего протонированного фосфобетаина **3**.

Реакция трициклогексилфосфина с коричной кислотой также протекает очень медленно. В этом случае нам также удалось получить устойчивые кристаллы белого цвета с $T_{\text{пл}} 281.4\text{ °C}$. Выход продукта реакции составил 80%. Согласно спектральным данным в реакционной смеси также присутствовал соответствующий фосфиноксид (приблизительно 8%). В ИК-спектре полученного бетаина отчетливо фиксируется полоса поглощения в карбоксилатной области при 1600 см^{-1} , химический сдвиг ядра фосфора составляет 33.2 м. д. Структура данного фосфобетаина также подтверждена методом РСА (рис. 4).



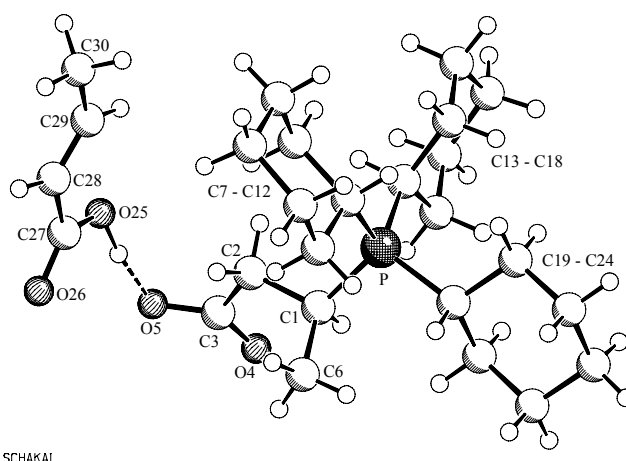
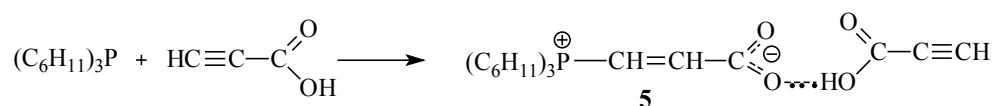


Рис. 3. Молекулярная структура карбоксилатного фосфабетина 3



Рис. 4. Молекулярная структура бетаина 4

Трициклогексилфосфин реагирует с *пропиоловой кислотой* в смеси ацетонитрила и бензола с образованием кристаллического продукта, который удалось выделить и охарактеризовать спектральными методами. Полученные кристаллы представляют собой продукт **5**. В реакционной смеси также присутствует очень незначительное количество трициклогексилфосфиноксида:



Продукт реакции представляет собой белый порошок с $T_{\text{разл}} 280.1$ °С.

В ИК-спектре полученного соединения (рис. 5), помимо полосы поглощения карбоксилатной группы в области 1600 см^{-1} , присутствует и полоса поглощения карбоксильной группы в области 1750 см^{-1} , а также полоса поглощения $\text{C}\equiv\text{C}$ -связи в области 2100 см^{-1} и гидроксильной группы при 3400 см^{-1} , что свидетельствует о стабилизации фосфабетина молекулой пропиоловой кислоты.

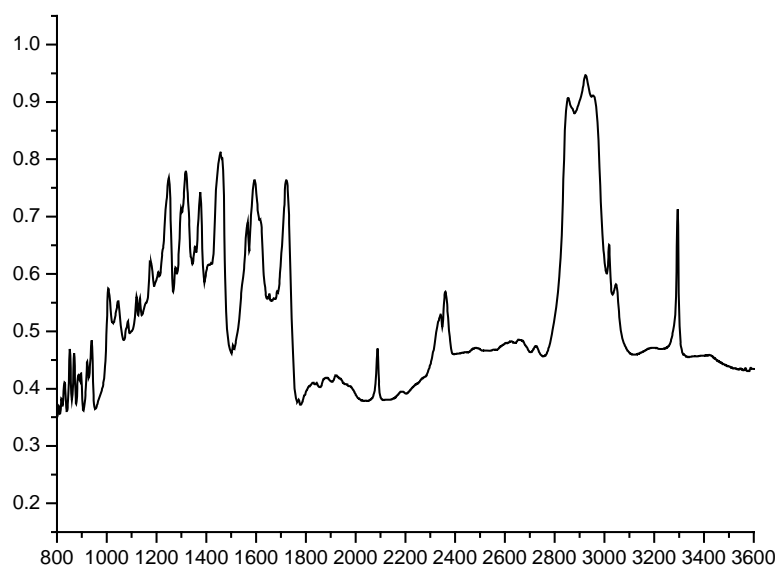


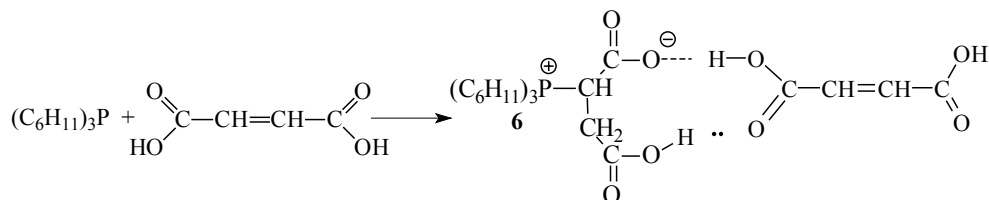
Рис. 5. ИК-спектр (вазелиновое масло) продукта реакции трициклогексилфосфина с пропиоловой кислотой

По данным ДСК-ТГ (рис. 6) можно сделать подобный вывод. Так, эндоэффекты с максимумами при 153.8 °С и 161.2 °С сопровождаются потерей массы в количестве 17.93% (при общей молекулярной массе продукта 420 у. е.), соответствующей отщеплению и испарению молекулы с массой 73 углеродных единицы, что в пределах точности метода соответствует одной молекуле пропиоловой кислоты (70 у. е.).

Следующий эндоэффект с максимумом при 280.1 °С сопровождается потерей массы в количестве 57.96%, что соответствует полному разрушению молекулярного остова фосфабетаина **5**. Таким образом, температура 280.1 °С является не температурой плавления, а температурой разложения полученного бетаина.

Данные элементного анализа также подтверждают сделанный выше вывод о составе полученного карбоксилатного фосфабетаина **5**. Найдено, %: С 70.18, Н 8.95, Р 6.95. Вычислено, %: С 68.55, Н 8.87, Р 7.37.

Реакция трициклогексилфосфина с дикарбоновой *малеиновой кислотой* протекает аналогично подобным реакциям трибутил-, трифенил- и метилдифенилфосфина. Данная реакция проводилась в смеси ацетонитрила и бензола. Был получен стабильный кристаллический продукт с $T_{пл}$ 206.7 °С (с разл.).



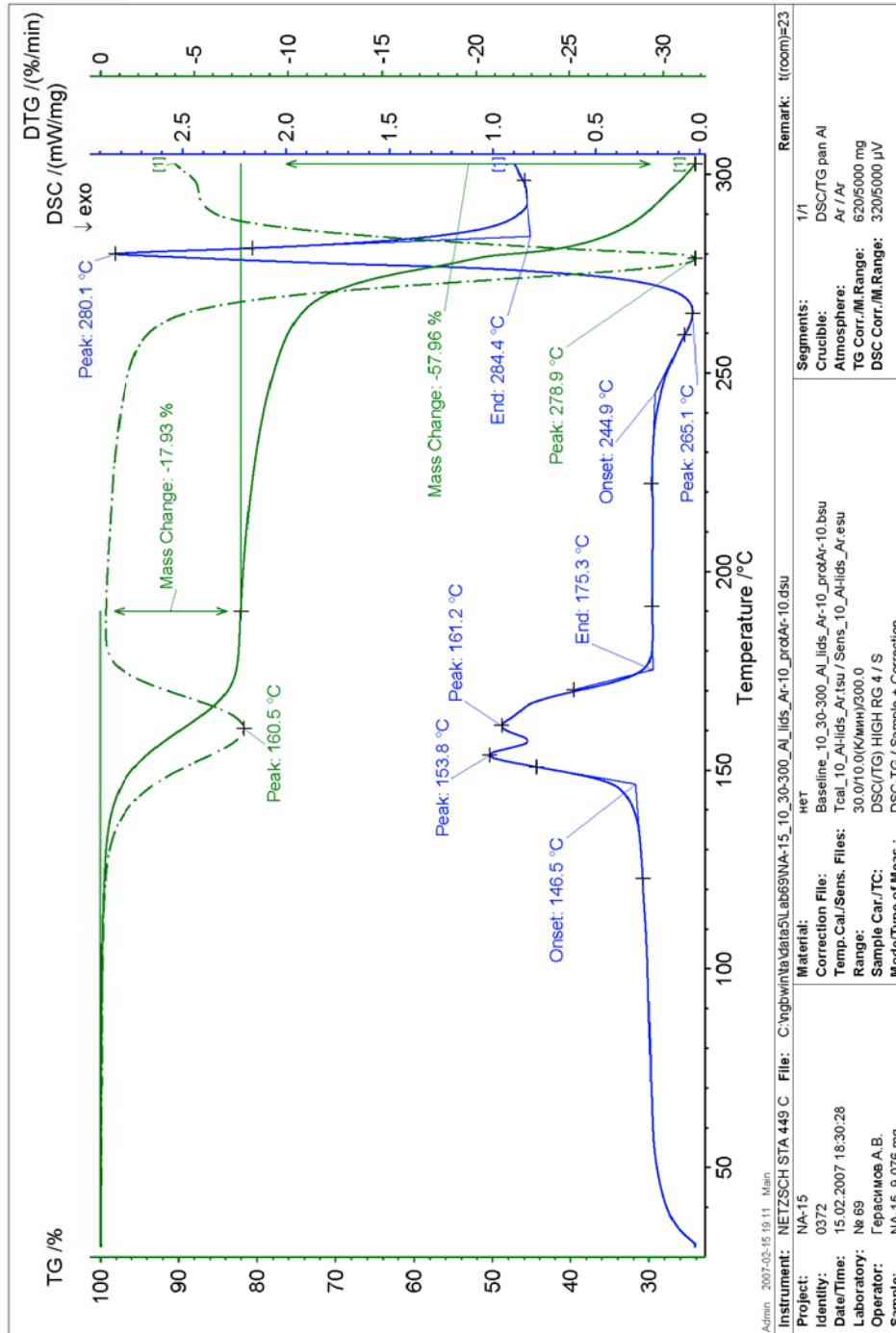


Рис. 6. Дериватограмма ТГ/ДСК кабоксилатного фосфата 5

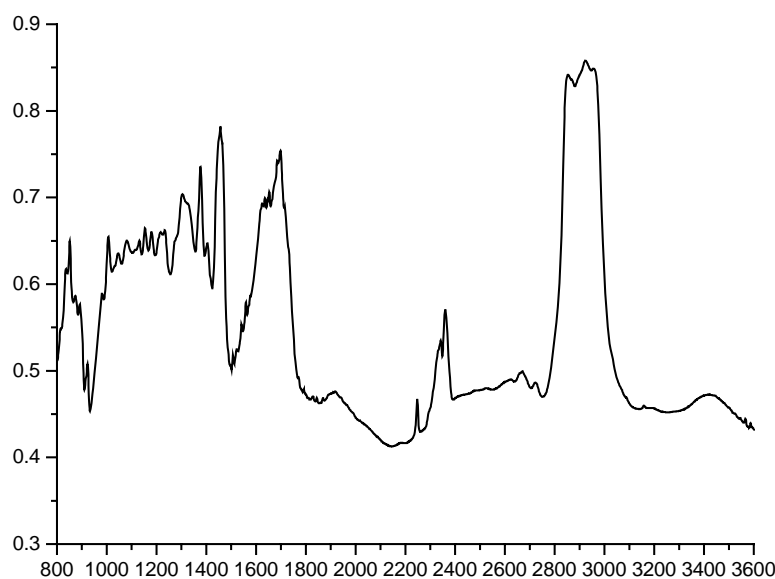


Рис. 7. ИК-спектр (вазелиновое масло) фосфабетаина **6**

Структура полученных кристаллов доказана методами ИК, ЯМР ^1H и ^{31}P -спектроскопии. В ИК-спектре (рис. 7) присутствует полоса поглощения как карбоксилатной 1600 см^{-1} , так и карбоксильной 1740 см^{-1} групп, а также полоса поглощения гидроксильных группы в области 3450 см^{-1} .

Химический сдвиг ядра атома фосфора равен 33.26 м. д. Выход продукта реакции составил около 50% . Данный дикарбоксилатный бетаин является достаточно стабильным в обычных условиях, и не претерпевает декарбоксилирования вплоть до температуры плавления в отличие от изученных нами ранее подобных бетаиновых структур с α -расположением фосфониевого центра относительно карбоксилатной группы. Вероятно, что и в данном случае существенный стерический эффект объемистых циклогексильных заместителей способствует повышению стабильности α -карбоксилатной группы за счет экранирования лабильного реакционного центра, как это имеет место, например, при стабилизации объемистыми заместителями соединений фосфора низкой координации (так называемая кинетическая стабилизация). Поскольку бетаин **6** плохо растворяется в ацетонитриле, хлороформе и не растворяется в ацетоне, диэтиловом эфире и гексане, то пока не удалось вырастить кристаллы, пригодные для рентгеноструктурного анализа.

Изучив кристаллический продукт **6** методом ДСК-ТГ (рис. 8), мы пришли к следующему выводу: фосфабетаин на основе трициклогексилфосфина и малеиновой кислоты дополнительно стабилизирован молекулой той же кислоты. Эндозффекты при 112.2 °C и 122.5 °C сопровождаются потерей массы в количестве 19.51% , что соответствует отщеплению молекулы с массой около 100 углеродных единиц при общей массе соединения 512 углеродных единиц. Таким образом, можно говорить об отщеплении молекулы малеиновой кислоты (116 углеродных единиц) от соответствующего бетаина. Следует отметить, что полное разрушение молекулярного остова бетаина **6** происходит лишь при

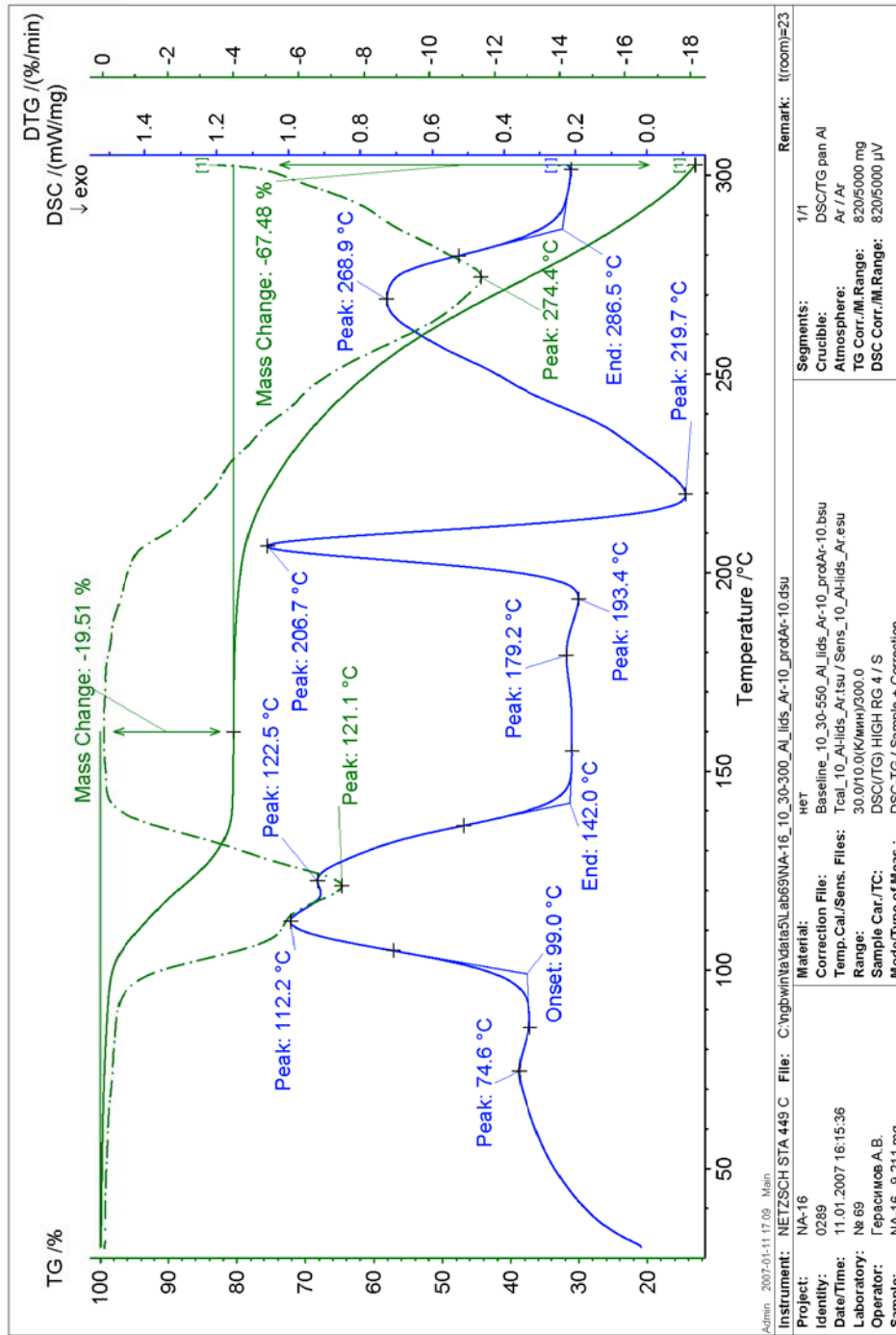


Рис. 8 Дериватограмма ТГ/ДСК фосфобетана 6

288.9 °С. Температура плавления нестабилизированного малеиновой кислотой бетаина 206.7 °С.

Синтетические эксперименты

Реакция трициклогексилфосфина с акриловой кислотой. К раствору 0.840 г трициклогексилфосфина в 5 мл бензола при постоянном перемешивании прикапывали раствор 0.216 г акриловой кислоты в 3 мл ацетонитрила. Реакционную смесь выдерживали в течение месяца при комнатной температуре. Растворитель удаляли в вакууме. При добавлении в реакционную смесь диэтилового эфира наблюдается образование белого порошкообразного продукта, который оплывает на воздухе. Порошкообразный продукт промывали на воронке Шотта диэтиловым эфиром, отфильтровывали и высушивали в вакууме. Он хорошо растворим в ацетонитриле и хлороформе, ограниченно в диэтиловом эфире. Выход 0.792 г (75%). $T_{пл}$ 200.3 °С, Строение продукта доказано различными спектральными методами (ИК-, ЯМР ^{31}P -спектроскопией). ν_{COO^-} 1600 cm^{-1} , δ_p 33.7 м. д. По данным ДСК-ТГ и элементного анализа бетаин **1** стабилизирован молекулой воды. Найдено, %: С 67.67, Н 10.96, Р 8.23. $C_{21}H_{39}O_3P$. Вычислено, %: С 68.10, Н 10.54, Р 8.37.

Реакция трициклогексилфосфина с метакриловой кислотой. К раствору 0.296 г трициклогексилфосфина в 5 мл бензола при постоянном перемешивании прикапывали раствор 0.091 г малеиновой кислоты в 3 мл ацетонитрила. Реакционную смесь выдерживали в течение месяца при комнатной температуре. При удалении растворителя выпадал осадок, который растворялся при добавлении к нему диэтилового эфира. Продукт выделен в виде вязкого масла. Выход 0.236 г (61%). Строение продукта подтверждено методами ИК-, ЯМР ^{31}P -спектроскопии, ν_{COO^-} 1600 cm^{-1} , δ_p 33.7 м. д.

Реакция трициклогексилфосфина с кротоновой кислотой. К раствору 0.364 г трициклогексилфосфина в 5 мл бензола при постоянном перемешивании прикапывали раствор 0.112 г кротоновой кислоты в 5 мл ацетонитрила. Реакционную смесь выдерживали в течение недели при комнатной температуре. Растворитель удаляли в вакууме. При добавлении диэтилового эфира выпадал осадок в виде белого мелкодисперсного порошка, который промывали диэтиловым эфиром, отфильтровывали и высушивали в вакууме. Выход 0.2142 г (45%). Полученный продукт хорошо растворим в хлороформе, ацетонитриле, ацетоне, воде. $T_{пл}$ 154.5 °С. Строение продукта подтвержден методами ИК-, ЯМР ^{31}P -спектроскопии, ν_{COO^-} 1600 cm^{-1} , δ_p 34.8 м. д. Структура данного бетаина доказана также методом РСА.

Реакция трициклогексилфосфина с коричной кислотой. К раствору 0.304 г трициклогексилфосфина в 3 мл хлороформа при постоянном перемешивании прикапывали раствор 0.173 г коричной кислоты в 3 мл хлороформа. Реакционную смесь выдерживали в течение нескольких месяцев при комнатной температуре. Растворитель удаляли в вакууме. При добавлении к реакционной

смеси диэтилового эфира образовывались хлопья белого цвета. Продукт промывали на воронке Шотта диэтиловым эфиром, отфильтровывали и высушивали в вакууме. В результате, был получен порошок, с $T_{пл}$ 271.4 °С. Выход 0.3816 г (80%). Структура продукта подтверждена методами РСА, ИК-, ЯМР ^{31}P -спектроскопии, ν_{COO^-} 1600 cm^{-1} , δ_{P} 33.2 м. д.

Реакция трициклогексилфосфина с пропиоловой кислотой. К раствору 0.442 г трициклогексилфосфина в 5 мл бензола при постоянном перемешивании прикапывали раствор 0.110 г пропиоловой кислоты в 5 мл ацетонитрила. Реакционная смесь приобрела желтую окраску. Реакционную смесь выдерживали в течение четырех суток при комнатной температуре. Растворитель удаляли в вакууме. В спектре ЯМР ^{31}P реакционной смеси присутствовало три сигнала, два из которых (δ_{P} 30.05 м. д. и δ_{P} 28.4 м. д.) принадлежали *цис*- и *транс*-изомерам бетаина; один сигнал с δ_{P} 51.77 м. д. – фосфиноксиду. При добавлении эфира наблюдалось помутнение раствора. Полученный продукт представлял собой порошок белого цвета, с $T_{пл}$ 280.1 °С, который ограниченно растворим в ацетонитриле, плохо растворим в хлороформе. Выход 0.2318 г (42%). Структура продукта подтверждена методами ИК-, ЯМР ^{31}P -спектроскопии, ν_{COO^-} 1600 cm^{-1} , δ_{P} 28.4 м. д. По данным ДСК-ТГ и элементного анализа бетаин **13** стабилизирован молекулой пропиоловой кислоты. Найдено, %: С 70.53, Н 9.10, Р 6.95. $\text{C}_{24}\text{H}_{37}\text{O}_4\text{P}$. Вычислено, %: С 71.97, Н 10.07, Р 8.84.

Реакция трициклогексилфосфина с малеиновой кислотой. К раствору 0.409 г трициклогексилфосфина в 5 мл бензола при постоянном перемешивании прикапывали 0.169 г малеиновой кислоты в 3 мл ацетонитрила. Реакционную смесь выдерживали в течение суток при комнатной температуре. Наблюдалось образование кристаллов с $T_{пл}$ 206.7 °С. Выход 0.2774 г (48%). Эти кристаллы не растворимы ни в хлороформе, ни в воде, ни в ацетоне, ограниченно растворимы в этиловом и изопропиловом спирте. По данным ИК- и ЯМР ^{31}P -спектроскопии кристаллы представляют собой дикарбоксилатный фосфобетаин ν_{COO^-} 1620 cm^{-1} , ν_{COOH} 1700 cm^{-1} , δ_{P} 33.26 м. д. По данным ДСК-ТГ полученный бетаин **5** стабилизирован молекулой малеиновой кислоты.

Спектральные эксперименты

ИК-спектры полученных соединений записаны на спектрометре Spesord M-80 в интервале частот 700–3600 cm^{-1} в виде жидких пленок или суспензии в вазелиновом масле между пластинами KBr. Спектры ЯМР ^1H и ^{31}P получены в растворе CDCl_3 на спектрометре Varian Unity-300 с рабочей частотой 300 МГц (для ^1H), внутренний стандарт – ГМДС, и с рабочей частотой 121.64 МГц (для ^{31}P), стандарт – H_3PO_4 .

Дериватограммы ТГ/ДСК записаны на приборе NETZSCH STA 449С в интервале температур от 20 до 400 °С со скоростью нагрева образца 10 °С в минуту в среде аргона.

Summary

Yu.V. Bakhtiyarova, M.S. Bondar, I.V. Galkina, V.I. Galkin. Tricyclohexylphosphine in Reactions with Unsaturated Mono- and Dicarboxylic Acids.

Reactions of tricyclohexylphosphine with a range of unsaturated mono- and dicarboxylic acids have been researched. Products of most reactions have been specified and characterized by a complex of physical methods including X-ray analysis. Stability of some carboxylate phosphobetaines obtained has been evaluated by means of thermographic analysis – integrated method of thermogravimetry with differential scanning calorimetry.

Key words: carboxylate phosphobetaines, unsaturated carboxylic acids, tertiary phosphines, synthesis, X-ray analysis.

Литература

1. *Галкин В.И., Бахтиярова Ю.В., Полежаева Н.А., Шайхутдинов Р.А., Клочков В.В., Черкасов Р.А.* Синтез и свойства фосфобетаиновых структур. I. Трифенилфосфин и трифенилфосфит в реакциях с непредельными карбоновыми кислотами и их производными // Журн. общ. химии. – 1998. – Т. 68, Вып. 7. – С. 1104–1108.
2. *Galkin V.I., Bakhtiyarova Yu.V., Polezhaeva N.A., Cherkasov R.A., Krivolapov D.B., Gubaidullin A.T., Litvinov I.A.* Synthesis, structure and reactivity of carboxylate phosphobetaines // Phosphorus, Sulfur and Silicon and Relat. Elem. – 1999. – V. 144–146. – P. 919.
3. *Галкин В.И., Бахтиярова Ю.В., Полежаева Н.А., Галкина И.В., Черкасов Р.А., Криволапов Д.Б., Губайдуллин А.Т., Литвинов И.А.* Синтез и свойства фосфобетаиновых структур. II. Синтез и молекулярная структура трифенилфосфонийэтилкарбоксилата и продуктов его алкилирования // Журн. общ. химии. – 2002. – Т. 72, Вып. 3. – С. 404–411.
4. *Галкин В.И., Бахтиярова Ю.В., Полежаева Н.А., Галкина И.В., Черкасов Р.А., Криволапов Д.Б., Губайдуллин А.Т., Литвинов И.А.* Синтез и свойства фосфобетаиновых структур. III. Фосфобетаины на основе третичных фосфинов и α,β -непредельных карбоновых кислот. Синтез, строение и химические свойства // Журн. общ. химии. – 2002. – Т. 72, Вып. 3. – С. 412–418.
5. *Galkin V.I., Bakhtiyarova Yu.V., Galkina I.V., Cherkasov R.A., Pudovik A.N., Krivolapov D.B., Gubaidullin A.T., Litvinov I.A.* Phosphobetaines on the basis of triphenylphosphine and unsaturated dicarboxylic acids // Phosphorus, Sulfur and Silicon and Relat. Elem. – 2002. – V. 177. – P. 2063.
6. *Галкин В.И., Бахтиярова Ю.В., Сагдиева Р.И., Галкина И.В., Черкасов Р.А., Криволапов Д.Б., Губайдуллин А.Т., Литвинов И.А.* Синтез и свойства фосфобетаиновых структур. IV. Трифенилфосфонийэтилкарбоксилат в реакциях с диполярными электрофильными реагентами // Журн. общ. химии. – 2006. – Т. 76, Вып. 3. – С. 452–558.
7. *Galkin V.I., Bakhtiyarova Yu.V., Sagdieva R.I., Galkina I.V., Cherkasov R.A.* The main regularities in synthesis, structure and reactivity of carboxylate phosphobetaines and their derivatives // Heteroatom Chem. – 2006. – V. 17, No 6. – P. 557–566.
8. *Бахтиярова Ю.В., Сагдиева Р.И., Галкина И.В., Галкин В.И., Черкасов Р.А., Криволапов Д.Б., Губайдуллин А.Т., Литвинов И.А.* Карбоксилатные фосфобетаины на основе третичных фосфинов и непредельных дикарбоновых кислот // Журн. орган. химии. – 2007. – Т. 43, Вып. 2. – С. 215–221
9. *Галкин В.И., Мальцев Д.Б., Собанов А.А., Горохов В.Л., Бахтиярова Ю.В.* Кинетика и механизм образования карбоксилатных фосфобетаинов в реакции третичных

фосфинов с непердельными карбоновыми кислотами // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2006. – Т. 148, кн. 4. – С. 10–20.

Поступила в редакцию
16.11.07

Бахтиярова Юлия Валерьевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела прикладной химии Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского государственного университета.

E-mail: *julbakh@hitv.ru*

Бондарь Михаил Самоилович – аспирант Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского государственного университета.

E-mail: *bondar81@inbox.ru*

Галкина Ирина Васильевна – кандидат химических наук, доцент кафедры высокомолекулярных и элементоорганических соединений Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского государственного университета.

E-mail: *vig54@mail.ru*

Галкин Владимир Иванович – доктор химических наук, профессор, директор Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского государственного университета.

E-mail: *vgalkin@hitv.ru*